



71 Anmelder:  
Deutsche Telekom AG, 53113 Bonn, DE

72 Erfinder:  
Koops, Hans Wilfried Peter, Dr., 64372  
Ober-Ramstadt, DE; Reinhardt, Andreas, 63512  
Hainburg, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

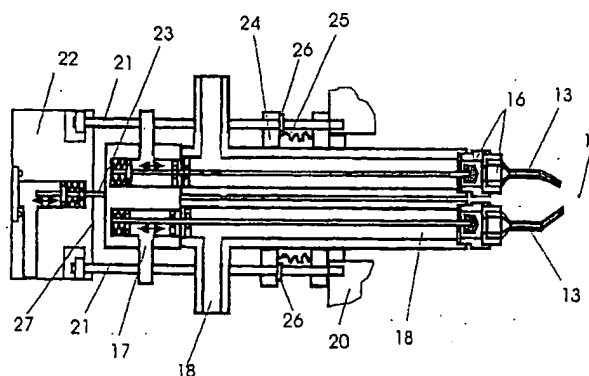
US 56 39 699  
US 52 73 849

KOOPS, Hans W.P.: Constructive three-dimensional  
lithography with electron-beam induced  
deposition  
for quantum effect devices. In: J. Vac. Sci.  
Technol. B 11(6), Nov./Dec. 1993, S.2386-2389;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Gasversorgung für Additive Lithographie

57 Eine neuartige Vorrichtung zur Gasversorgung für Additive Lithographie mit Korpustularstrahlen wird beschrieben, die für die Korpustularstrahl-unterstützte Modifikation von Oberflächen, das sind die Depositions-Lithographie, basierend auf der Korpustularstrahl-induzierten Deposition und das Korpustularstrahl-unterstützte Abtragen von Oberflächenmaterial, eingesetzt wird. Dabei werden zur selektiven Belegung oder Abtragung einer Oberfläche mit einer bestimmten Anzahl von Monolagen definierter Molekülzusammensetzung ein Molekularstrahl oder gleichzeitig mehrere Molekularstrahlen zur Nachlieferung der Depositions- bzw. Ätzmaterial-Präkursorer eingesetzt. Diese werden erzeugt, indem mit parallel arbeitenden Gaskanälen, die im erforderlichen Druckbereich über Temperatureinstellung des Reservoirs voreingestellt betrieben werden, unter Rechnersteuerung der speziellen Auslassventile die Moleküle im Strahl durch Kanülen geführt werden und mit einem definierten Molekülfluss auf das zu bearbeitende Objekt gerichtet werden.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Belegung einer Probe mit einer Folge von Monolagen aus Präkursormolekülen zur aufbauenden oder abtragenden Bearbeitung der Probe mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie.

[0002] Gasversorgungssysteme zur Bearbeitung von Substrat Oberflächen in Depositions- und Trockenätzanlagen sind bekannt. Additive 3-dimensionale Korpuskularstrahl-Lithographie ist ebenfalls bekannt und unter [H. W. P. Koops, R. Weiel, D. P. Kern, T. H. Baum, "High Resolution Electron Beam Induced Deposition", Proc. 31. Int. Symp. on Electron, Ion, and Photon Beams, J. Vac. Sci. Technol. B 6(1) (1988) 477] beschrieben. Auch das Abtragen von Oberflächen mit Hilfe der durch Korpuskularstrahlung unterstützten selektiven chemischen Ätzung ist für einige Materialien bekannt [S. Matsui, K. Mori, Appl. Phys. Lett. 51 1498 (1987) J. W. Coburn, H. F. Winters, J. Appl. Phys. 50, 3189 (1979)]. Bei der Additiven Nanolithographie wird meist eine Kanüle zur Drosselung des Gasstromes und zur Belegung der zu bearbeitenden Oberfläche eingesetzt.

[0003] Der Nachteil dabei ist, dass in technischen Prozessen nacheinander die Gaskanäle eingesetzt, bzw. die Gase in einem Mischer gemischt und dann zugeführt werden. Es wird ein Transportgas benötigt, um die Mischung an den Ort des Verbrauchs zu bringen.

[0004] Ausgehend davon ist es Aufgabe der Erfindung, kleinste Gasmengen und Molekülgemische zur Belegung von Oberflächen schnell und programmgesteuert einzusetzen.

[0005] Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale des Hauptanspruchs gelöst.

[0006] Erfindungsgemäß wird dazu eine neuartige Vorrichtung, eine Kombination aus Gasdruckeinstellbereich und verteilt aufgebautem Zufuhrventil in Verbindung mit der mechanischen Annäherung der den Molekül-Fluss fein begrenzenden Kanülen an den Arbeitspunkt eingesetzt. Dabei können die Molekularstrahlen über rechnergesteuerte Preßluft- oder elektrische Ventile einzeln geschaltet werden. Neuartig ist die räumliche Trennung von Ventilbetätigung und Ventildichtungsbereich zur Minimierung des Totvolumens, das nach Schließen des Ventils noch zur Reaktion beiträgt. Diese Vorrichtung erlaubt den schnellen Wechsel der Gase und Depositions-Präkursoren entsprechend der Aufbau- bzw. Ätz-Vorschrift für das zu deponierende bzw. zu entfernende Material für die 3-dimensionale Additive bzw. Subtraktive Lithographie mit Korpuskularstrahlen und so die Integration der Gasversorgung in die Belichtungssteuerung des Lithographiegerätes. Mit einer derartigen Vorrichtung ist der maskenlose Aufbau oder Abbau von Materialien mit wechselnden aber wohldefinierten Eigenschaften bei höchster Auflösung und stöchiometrischer Definition der Materialzusammensetzung bzw. der chemischen Reaktion möglich.

[0007] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen werden in den Unteransprüchen geschützt.

[0008] Im folgenden wird anhand der Figuren die Erfindung näher erläutert.

[0009] Es zeigen

[0010] Fig. 1 das Schema einer herkömmlichen Gasversorgung für Additive Lithographie mit Kanüle für die strukturierende Deposition von Materie auf einem Substrat in einem Lithographiesystem,

[0011] Fig. 2 den erfindungsgemäßen Aufbau des Gasdruckeinstellbereiches, des schnellen Gasschaltventils, der den Druck und auch den Molekularströmungs-Fluss weiter drosselnden Kanülen und der Bewegungsvorrichtung für die

Annäherung an das Substrat, und

[0012] Fig. 3 eine Ausführung des Ventilkopfes mit minimalem Totvolumen mit integrierter Kanülenhalterung.

[0013] Das Schema einer herkömmlichen Gasversorgung für Additive Lithographie mit Kanüle und die strukturierende Deposition von Materie auf einem Substrat in einem Lithographiesystem zeigt Fig. 1. Das System benützt eine Pumpeinrichtung (1) mit Auspuff (2) um über ein Heizbaffle (3) eine Gasmischkammer (4) zu evakuieren, welche über Heizer (5) auf Temperatur gehalten wird, um einen bestimmten Druck zu erreichen, und welche über Thermostaten (6) gehalten wird. Der Druck wird mit dem Druckmessgerät (7) gemessen. An die Gasmischkammer sind über Verschlussventile (8) Reservoirs der Präkursor-Substanzen (9) angeschlossen, welche wiederum über Heizelemente (10) auf definierter Temperatur gehalten werden können. Über ein Ventil (11) wird die Gasmischung durch die Gehäusewand des Korpuskularstrahlgerätes (12) in eine Düse geführt (13), aus der das Gasgemisch auf die zu belegende Probe (14) gelangt, wo sie mit Hilfe des Korpuskularstrahles (15) durch Deposition in ein bleibendes Material umgewandelt wird, oder die Probe durch chemische Reaktion unter Bildung von flüchtigen Reaktionsprodukten abgetragen wird.

[0014] Eine derartige Anordnung ermöglicht es nicht den Druckbereich einzelner Präkursoren getrennt zu variieren, da der Dampfdruck der verwendeten Materialien von der kältesten Stelle im System bestimmt wird, und so jeweils nur ein Gas zum Einsatz kommen kann, um nicht die Ausgangssubstanzen durch Querkontamination zu verschmutzen. Es ist deshalb vorteilhaft zum einen die Gaskanäle bis zur Probe getrennt zu führen, und zum anderen die ganze Anordnung als Hot-Wall-System aufzubauen, sodaß der Molekülstrom, der über die Temperatur am Reservoir eingestellt wird auch zur Auslassöffnung gelangt, und zum weiteren die Auslassöffnung mit einem jeweils unabhängig einstellbaren möglichst in unmittelbarer Nähe befindlichen Ventil zu verschließen. Durch die Forderung, die Molekülfzufuhr mit einem möglichst kleinen Totvolumen zum Prozeß hin in kurzer Zeit abzuschließen, resultiert die verbesserte Anordnung, die eine neuartige Kombination aus Gasdruckeinstellbereich und Zufuhrventil in Verbindung mit der mechanischen Annäherung der Kanülen an den Arbeitspunkt verwendet. Aus Platzgründen können die erforderlichen, die Kanülen abschließenden Ventile nicht an deren Ende gesetzt werden. Auch eine Anordnung der vollständigen Ventile am Anfang der Kanülen ist aus geometrischen und aus Betätigungsgründen nicht möglich.

[0015] Fig. 2 zeigt den Aufbau des Gasdruckeinstellbereiches, des schnellen verteilt aufgebauten Gasschaltventils, der den Druck und auch den Molekularströmungs-Fluss weiter drosselnden Kanülen, und der Bewegungsvorrichtung für die Annäherung an das Substrat.

[0016] Zur Lösung des Problems wurde die vorteilhafte Trennung des Ventil-Verschlußbereiches (16) vom Ventilbetätigungsbereich (17) eingeführt. Dabei durchdringt die Ventilbetätigung in gasdichter Weise ausgeführt mit Hilfe einer Kraftübertragungstange (18) die Gaszufuhr (19). Um die Kanülenanordnung (13) im Arbeitsbetrieb möglichst nahe an die Probe (14) zu bringen, wurde der gesamte Ventilsteuerblock kompakt gebaut, und wird über eine Preßluft gesteuerte Bewegungsvorrichtung aus Gehäusewand-Widerlager (20), Führungsgestänge (21) und Ventilkörper (22) über die Betätigungstange (23) und den Gleitführungskörper (24), der über einen Federbalg mit Gegenfedern (25) auf dem Gehäuse abgestützt ist, zwischen den Anschlägen für eingefahren (26) und herausgezogen (27), beweglich angeordnet. Auch diese Bewegung wird im Belichtungsprogramm des

Korpuskularstrahlsystems gesteuert. Alle Funktionen sind mit Preßluft gesteuert, um kurze Reaktionszeiten zu ermöglichen und um nicht durch störende elektromagnetische Felder die Funktion des Korpuskularstrahlgerätes zu beeinträchtigen..

[0017] Fig. 3 zeigt die Ausführung des Ventilkopfes (28) mit integrierter Kanülenhalterung (29) zur Minimierung des Totvolumens (30) und damit des Materialverlustes und des Nachfließens von Material nach dem Schließen des Ventils. Die Schubstange (18) wird über eine Führungsplatte (31) mit Durchbrüchen zur Gasnachführung gehalten. Die Kanüle ist dabei zum leichteren Service wechselbar ausgeführt. Durch ihren Durchmesser und ihre Länge wird der Molekularstrahl definiert, der aus dem voreingestellten Gasdruck resultiert und die Oberfläche mit einer definierten Anzahl von Monolagen pro Sekunde belegt.

[0018] Zur Durchführung der aufbauenden oder abtragenden Reaktion wird nun mit Vorteil aus mehreren Kanälen gleichzeitig oder auch nacheinander ein Gemisch von Monolagen der Moleküle auf der Oberfläche angeboten und dieses durch den Elektronenstrahl in das neue Material oder die flüchtigen Komponenten des zu ätzenden Materials umgewandelt, oder durch Verwendung der Reaktionskinetik der beteiligten Moleküle deren Reaktion durch zusätzliche Energiezufuhr aus dem Elektronenstrahl lokal gezündet, oder durch eine zusätzliche Energiezufuhr mit Licht geeigneter Wellenlänge das Gemisch zur Reaktion vorangeregt und die Reaktion durch den Elektronenstrahl wieder lokal gezündet. Diese verschiedenen Wege führen alle zu dem gewünschten Depositionsprodukt oder der flüchtigen Verbindung aus dem zu ätzenden Material. Voraussetzung ist die bekannte Reaktionskinetik, die zeitlich gesteuerte Zusammensetzung der Molekül-Monolagen und die erforderliche Dosis des Elektronenstrahls. Diese Parameter werden vorher bestimmt und dann in Nachschlageregister der rechnergesteuerten Reparaturvorschrift zur Auswahl vorgelegt.

[0019] Somit wird eine neuartige Vorrichtung zur Gasversorgung für Additive Lithographie mit Korpuskularstrahlen vorgestellt, die für die Korpuskularstrahlunterstützte Modifikation von Oberflächen, das sind die Depositions-Lithographie basierend auf der Korpuskularstrahlinduzierten Deposition und das Korpuskularstrahlunterstützte Abtragen von Oberflächenmaterial, eingesetzt wird. Dabei werden zur selektiven Belegung oder Abtragung einer Oberfläche mit einer bestimmten Anzahl von Monolagen definierter Molekülzusammensetzung ein Molekularstrahl oder gleichzeitig mehrere Molekularstrahlen zur Nachlieferung der Depositions- bzw. Ätzmaterial-Präkursorer eingesetzt. Diese werden erzeugt, indem mit parallel arbeitenden Gaskanälen, die im erforderlichen Druck-Bereich über Temperatureinstellung der Reservoirs voreingestellt betrieben werden, unter Rechnersteuerung der speziellen Auslassventile die Moleküle im Strahl durch Kanülen geführt werden und mit einem definierten Molekülfluss auf das zu bearbeitende Objekt gerichtet werden. Der Materialstrom wird entsprechend dem Belichtungsprogramm aus einzelnen Zuführungen oder gleichzeitig aus mehreren Zuführungen auf das Objekt geführt. Die Mischung des Materials erfolgt dabei in den kondensierten Molekülschichten auf der Probe. So können chemische Reaktionen mit entsprechender Stöchiometrie unter Zufuhr der Reaktionsenergie aus dem Korpuskularstrahl ausgeführt werden. Durch Vorjustierung sind die Gas-Versorgungskanäle so angeordnet, dass die Molekularstrahlen auf den Arbeitsbereich konzentriert werden. Mit diesem Verfahren ist die umweltschonende und kostensparende Anwendung kleinster Materialmengen zur selektiven Belegung oder Abtragung einer Oberfläche steuerbar.

# Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Belegung einer Probe mit einer Folge von Monolagen aus Präkursormolekülen zur aufbauenden oder abtragenden Bearbeitung der Probe mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie **dadurch gekennzeichnet**,

dass diese mindestens einen Präkursor-Gas Kanal enthält bestehend aus kühl- und heizbarem Reservoir mit Absperrventil, Gaszufuhr-Röhre, Abschlußventil und flussbestimmender Auslasskanüle, wobei der Präkursor-Druck über eine Temperatursteuerung des den Präkursor enthaltenden Reservoirs eingestellt wird, dass aus diesem Druckreservoir über eine geeignet in Länge und Durchmesser definierte Kanüle die Belegung einer Probe mit einer vorgegebenen Anzahl von Monolagen der Moleküle mit Hilfe eines Ventils rechnergesteuert durchgeführt wird, dass das Ventil mit Hilfe einer Kraftübertragungsstange, welche den Gaszufuhrbereich durchsetzt in den Teilen Ventilsteuerung und Ventilverschlussbereich getrennt aufgebaut ist und dadurch das Totvolumen der zur Reaktion beitragenden Präkursormoleküle minimiert wird.

2. Vorrichtung zur Belegung einer Probe mit einer Folge von Monolagen aus Präkursormolekülen zur aufbauenden oder abtragenden Bearbeitung der Probe mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie nach Anspruch 1 **dadurch gekennzeichnet**,

dass gleichzeitig mehrere getrennte Gaskanäle mit ihren dazugehörigen Präkursor-Reservoirs zur Bearbeitung oder Belegung der Probe eingesetzt werden, welche durch getrennte Temperatursteuerung auf verschiedenem Druck gehalten werden, und dass durch zeitgesteuerte Öffnung und Schließung der für jeden Gaskanal extra existierenden und betätigten Ventile eine stöchiometrische Reaktion auf bzw. mit der Probe unter Verwendung mehrerer Reaktionspartner unter Zufuhr der Energie aus dem Korpuskularstrahl durchgeführt wird.

3. Vorrichtung zur Belegung einer Probe mit einer Folge von Monolagen aus Präkursormolekülen zur aufbauenden oder abtragenden Bearbeitung der Probe mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie nach Anspruch 1 und 2 **dadurch gekennzeichnet**,

dass mehrere getrennte Gaskanäle mit ihren dazugehörigen Präkursor-Reservoirs zur Bearbeitung oder Belegung der Probe eingesetzt werden, welche mit ihren zum Reservoir flexibel verbundenen Gaszufuhr-Röhren am Korpuskularstrahlgerät durch eine gemeinsame Platte gehalten sind, dass die Platte über ein getrennt aufgebautes rechnergesteuertes Pressluftventil relativ zum Korpuskularstrahl optischen Gerät und damit zur Probe geführt bewegt werden kann, um die Austrittsöffnungen der die Präkursormoleküle führenden Kanülen im eingefahrenen Zustand in optimale Arbeitsstellung zur Probe zu bringen bzw. im Ausgefahrenen Zustand die Kanülen vor mechanischen Kollisionen mit dem die Probe tragenden Tisch aus dessen Verfahrbereich zu entfernen.

4. Vorrichtung zur Belegung einer Probe mit einer Folge von Monolagen aus Präkursormolekülen zur aufbauenden oder abtragenden Bearbeitung der Probe mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie nach Anspruch 1 bis 3 **dadurch gekennzeichnet**,

dass die Molekularstrahlen aus mehreren getrennten Gaskanälen und die Position der Auslasskanülen durch Rechnersteuerung kontrolliert werden und

dass diese Funktionen über die Bearbeitungs-Steuerungs-Anweisung des Korpuskularstrahlgerätes gesteuert werden und in dessen Produktions-Ablaufsteuerung eingebunden aufgerufen werden.

5. Vorrichtung zur Belegung einer Probe mit einer Folge von Monolagen aus Präkursormolekülen zur aufbauenden oder abtragenden Bearbeitung der Probe mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie nach Anspruch 1 bis 4 dadurch gekennzeichnet, dass zur Energiezufuhr anstelle der Korpuskularstrahl-Lithographie die optische Lithographie mit Photonen ausreichender Energie eingesetzt wird.

6. Vorrichtung zur Belegung einer Probe mit einer Folge von Monolagen aus Präkursormolekülen zur aufbauenden oder abtragenden Bearbeitung der Probe mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie nach Anspruch 1 bis 5 dadurch gekennzeichnet, dass zur Energiezufuhr anstelle der Korpuskularstrahl-Lithographie die exotherme chemische Reaktionsführung eingesetzt wird, die durch geeignete Zusammensetzung der Präkursoren erzielt wird.

7. Vorrichtung zur Belegung einer Probe mit einer Folge von Monolagen aus Präkursormolekülen zur aufbauenden oder abtragenden Bearbeitung der Probe mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie nach Anspruch 1 bis 6 dadurch gekennzeichnet, dass zur Energiezufuhr sowohl die Korpuskularstrahl-Lithographie als auch die exotherme chemische Reaktionsführung eingesetzt wird, die durch geeignete Zusammensetzung der Präkursoren erzielt wird, und dass die Korpuskularstrahl-Lithographie die exotherme Reaktion durch einen geringen Energiebeitrag steuert und lokal begrenzt.

8. Vorrichtung zur Belegung einer Probe mit einer Folge von Monolagen aus Präkursormolekülen zur aufbauenden oder abtragenden Bearbeitung der Probe mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie nach Anspruch 1 bis 7 dadurch gekennzeichnet, dass zur Energiezufuhr sowohl die Korpuskularstrahl-Lithographie als auch die Photonenanregung im Arbeitsbereich durch geeignete Beleuchtung zur Reaktionsführung eingesetzt wird, und dass eine endotherme Reaktion der vorliegenden geeigneten Zusammensetzung der Präkursoren durch die Korpuskularstrahl-Lithographie durch einen geringen Energiebeitrag steuert und lokal begrenzt.

9. Vorrichtung zur Belegung einer Probe mit einer Folge von Monolagen aus Präkursormolekülen zur aufbauenden oder abtragenden Bearbeitung der Probe mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie nach Anspruch 1 bis 6 dadurch gekennzeichnet, dass zur Belegung der Probe mit besonders gut leitfähigem Belag oder mit Material einer ganz bestimmten Zusammensetzung in alternierender Weise Präkursoren zugeführt werden, welche durch selektive Energiezufuhr das Grundmaterial aufbringen, dass anschließend andere Präkursoren und Energieformen eingesetzt werden um das Deponat in seiner Zusammensetzung selektiv zu verändern, und dass dieses Verfahren für die einzelnen Lagen des Materials angewandt und die Bearbeitungsschritte zyklisch wiederholt werden.

10. Vorrichtung zur Belegung einer Probe mit einer Folge von Monolagen aus Präkursormolekülen zur aufbauenden oder abtragenden Bearbeitung der Probe mit Hilfe der Korpuskularstrahl-Lithographie nach Anspruch 1 bis 6 dadurch gekennzeichnet, dass zum Abtragen der Probe mit einer aus mehreren

chemischen Reaktionen bestehenden Folge in alternierender Weise Präkursoren zugeführt werden, welche durch selektive Energiezufuhr das Grundmaterial reaktiv lokal umwandeln,

dass anschließend andere Präkursoren und Energieformen eingesetzt werden, um das umgewandelte Probenmaterial in seiner Zusammensetzung selektiv in flüchtige Verbindungen zu verändern, und

dass dieses Verfahren für die einzelnen Lagen des Probenmaterials angewandt und die Bearbeitungsschritte zyklisch wiederholt werden.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

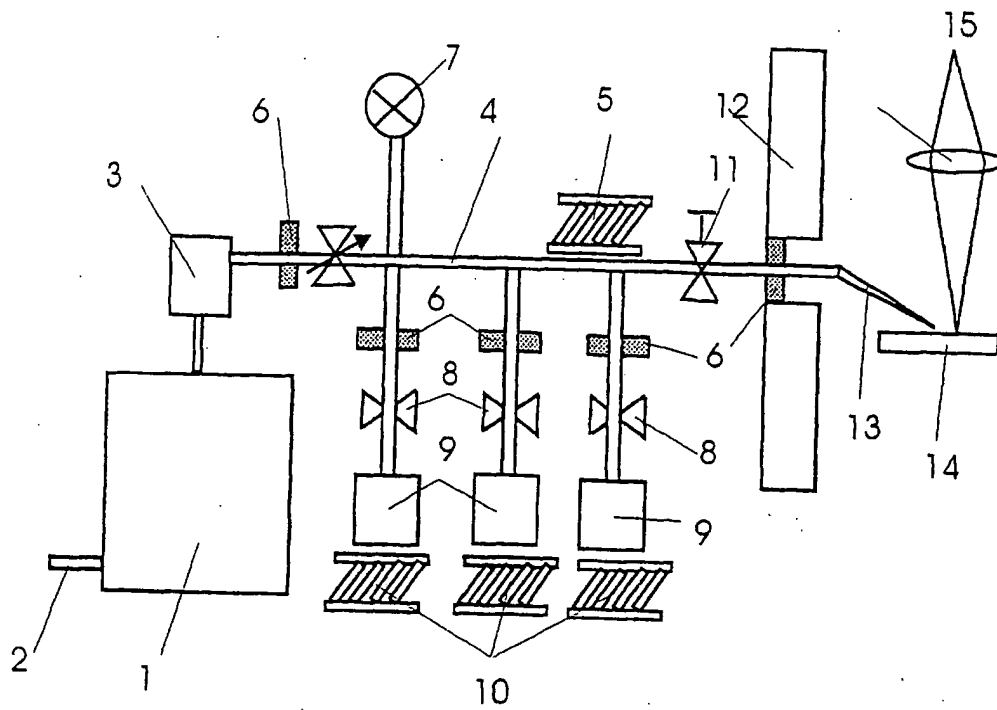


Fig. 1

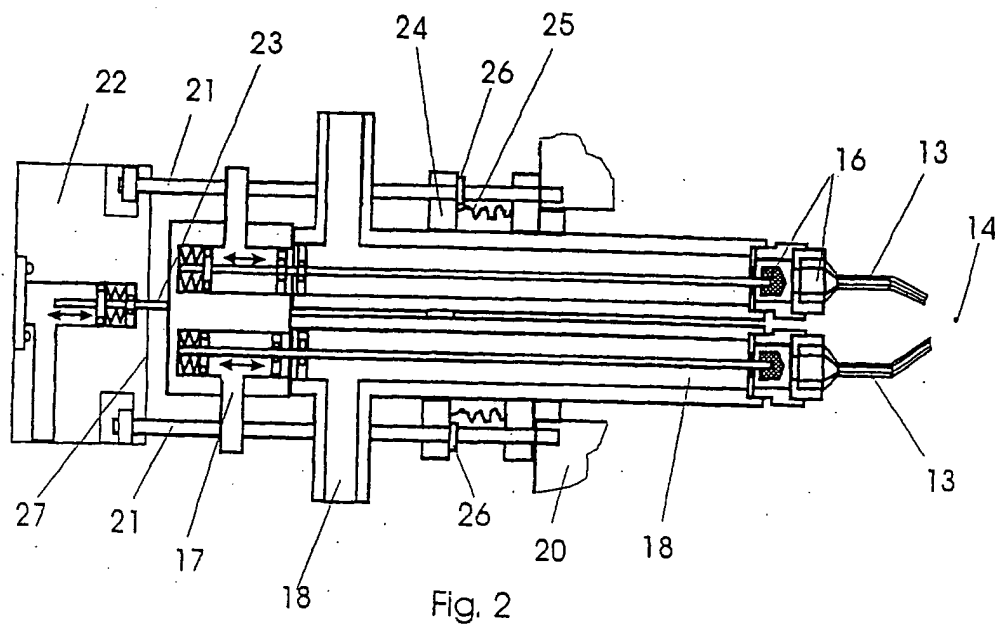


Fig. 2

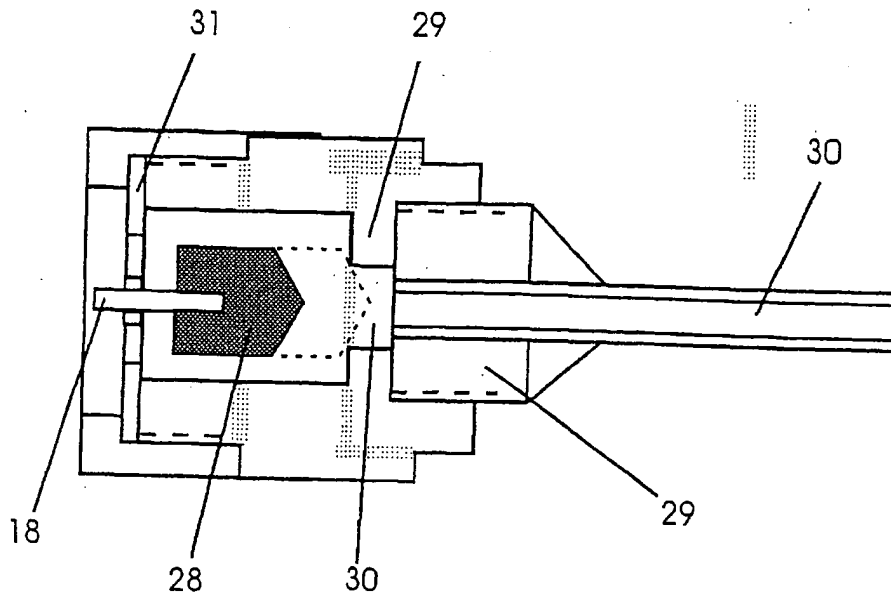


Fig. 3